

2012—2021年中央气象台台风3~5 d路径预报误差分析

王靖^{1,2,3}, 许映龙², 董林², 黄奕武²

(1. 复旦大学大气与海洋科学系, 上海 200438; 2. 国家气象中心, 北京 100081; 3. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 2012—2021年中央气象台台风3~5 d路径预报误差统计结果表明,虽然大误差的样本数仅为小误差样本数的1/12,但其贡献的误差占到后者的1/2,在预报误差整体降低的趋势背景下,大误差随时间变化无显著下降趋势。对大误差的分布特征及来源进行分析,其来源于4种台风类型:转向变性型(ET, 60.6%)、双台风型(BT, 24.2%)、弱引导气流型(WB, 9.1%)和异常型(NSF, 6.1%)。进一步总结天气形势场,可以得出:ET型会因低估台风变性后的移速导致大误差;BT型由于双台风作用导致的打转和异常转折等复杂路径,导致预报难度高;WB型台风引导气流弱且方向多变,导致移向误差大;NSF型会因预报移向失误导致大误差。

关键词: 台风; 预报误差; 变性; 双台风

中图分类号: P457.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)06-0025-09

1 引言

台风路径预报是防台减灾的首要问题^[1],各级政府根据气象部门发出的台风预警信息和防台预案,及时组织台风影响地区群众防台减灾,转移、安置危险地区群众,极大地减少了台风造成的影响,取得了显著的社会效益和经济效益^[2-3]。随着综合探测体系、数值预报及预报技术等不断进步,近十几年来我国台风业务预报取得了较显著的进展,台风路径业务预报水平显著提升,为防范台风灾害提供了强有力的防灾指导和科学决策依据。中央气象台从2001年起将台风预报时效延长至72 h,2009年延长至120 h^[2]。台风预警中的3~5 d(即72 h、96 h和120 h)路径预报为台风影响下的人员疏散、撤离和财产保护提供指导,对防台减灾工作部署具有重要意义。随着沿海经济的快速发展和城市化进程的加快,台风来临前沿海大城市群的防御成本也在逐年攀升,提前3~5 d精准地把握台风

路径愈发重要。

PENG等^[4]基于2005—2014年的台风预报资料,统计了多家机构的台风路径预报误差(Forecast Error, FE),指出中央气象台72 h、96 h和120 h路径预报的平均误差为301 km、441 km和557 km,其中大误差的值和样本比例大于美国联合台风警报中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)的预报(基于2010—2014年的数据比较)。这体现出台风3~5 d预报有进一步改进空间,同时也反映出预报大误差背后仍存在未能被预报员充分理解的问题,有待进一步研究。

从2012年起,中央气象台应用台风路径实时订正技术有效降低了FE^[5]。2017—2021年72 h、96 h和120 h台风路径预报的平均误差为201.5 km、272.5 km和361.4 km^[6-7],平均误差较2005—2014年减小。然而不可忽视的是,极端大的误差仍然存在,给台风业务预报服务工作带来困扰。2021年台风“灿都”的预报路径由进入南海调整为从台湾东部沿

收稿日期: 2022-04-12; 修回日期: 2022-06-10。

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1501604、2020YFE0201900); 国家自然科学基金(42175007、42175016)。

作者简介: 王靖(1989-),女,高级工程师,硕士,主要从事台风预报及研究工作。E-mail: qianwang@cma.gov.cn

通信作者: 许映龙(1968-),男,正研级高工,硕士,主要从事台风预报及研究工作。E-mail: xuyil@cma.gov.cn

海向北移动,调整前72 h、96 h和120 h的路径预报误差最高达287 km、699 km和1 017 km(9月8—9日);2015年台风“莲花”的长时效预报路径由台湾东北部沿海登陆调整至进入南海,7月4—6日72 h、96 h和120 h的路径预报误差最高达712 km、843 km和995 km。如果台风路径预报发生较大偏差,那么相应的台风强度、风雨等预报也将失去意义^[8],长时效路径预报的大误差样本意味着对应时段台风预报服务的被动。台风路径预报的不确定性也直接影响到风暴潮、海浪等海洋灾害预警预报的准确性。

JARRELL等^[9]指出台风预报误差主要来自转向台风(包括转向过程及转向后的加速东北行过程)和初始定位误差造成的预报误差,这一点PENG等^[4]予以验证并做了进一步分析。但我们对于近10 a台风长时效预报的大误差来源依然缺乏充分的了解。

本文对中央气象台2012—2021年台风3~5 d路径预报误差进行分析,总结了大误差的分布特征及来源,归纳了大误差台风的天气形势场,以期降低长时效路径预报误差,提升防台减灾的工作效益。

2 资料和方法

本文使用的资料包括:中国气象局台风最佳路径数据集^[10]和中央气象台发布的台风路径预报资料(网址:<http://typhoon.nmc.cn/web.html>),分别根据台风中心的观测位置和预报位置来计算台风预报误差;欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)大气再分析资料ERA5的气象要素数据,用于归纳台风天气环流类型。

FE的计算参照中国气象局发布的《台风业务和服务规定》中台风分析和预报质量评定方法。公式如下:

$$FE = 111.11 \frac{180}{\pi} \cos^{-1} [\sin \varphi_0 \sin \varphi_F + \cos \varphi_0 \cos \varphi_F \cos (\lambda_0 - \lambda_F)] \quad (1)$$

式中: φ 、 λ 为台风中心定位的纬度、经度;下标O和F分别表示观测(Observation)和预报(Forecast)。FE在台风移动方向上的投影为移速误差(Along-Track Error, ATE),在垂直于移动方向上的投影为移向误差(Cross-Track Error, CTE),分别表征预报误差是

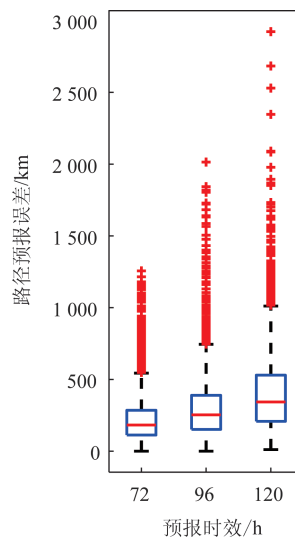
由对移动速度还是移动方向的误判所致。计算时以24 h间隔确定移动方向,误差的单位为km。

3 2012—2021年3~5 d台风路径预报误差分析

计算中央气象台2012—2021年的FE,72 h、96 h和120 h预报误差的样本数分别为3 259个、2 498个和1 804个。

3.1 误差概况

2012—2021年台风路径72 h、96 h和120 h预报误差的中位数分别为182.6 km、253.4 km和343.2 km(见图1),预报误差平均值分别为223.2 km、312.5 km和419.4 km。预报误差75%的分位数分别为285.4 km、389.5 km和529.9 km。箱线图中75%分位数(Q_3)与25%分位数(Q_1)的间距为内距(Inter-Quartile Range, IQR),上邻值($Q_3 + 1.5 \text{ IQR}$)对应箱线图上端的黑色短线,上邻值以外的数据为离群样本。根据图1,将预报误差大于544.1 km、744.7 km和1 011.6 km(上邻值)的样本作为本文的大误差样本。



注:红色横线表示中位数;蓝色箱子的底边和顶边分别表示25%和75%百分位数;红色“+”表示离群值

图1 2012—2021年台风路径72 h、96 h和120 h预报误差箱线图

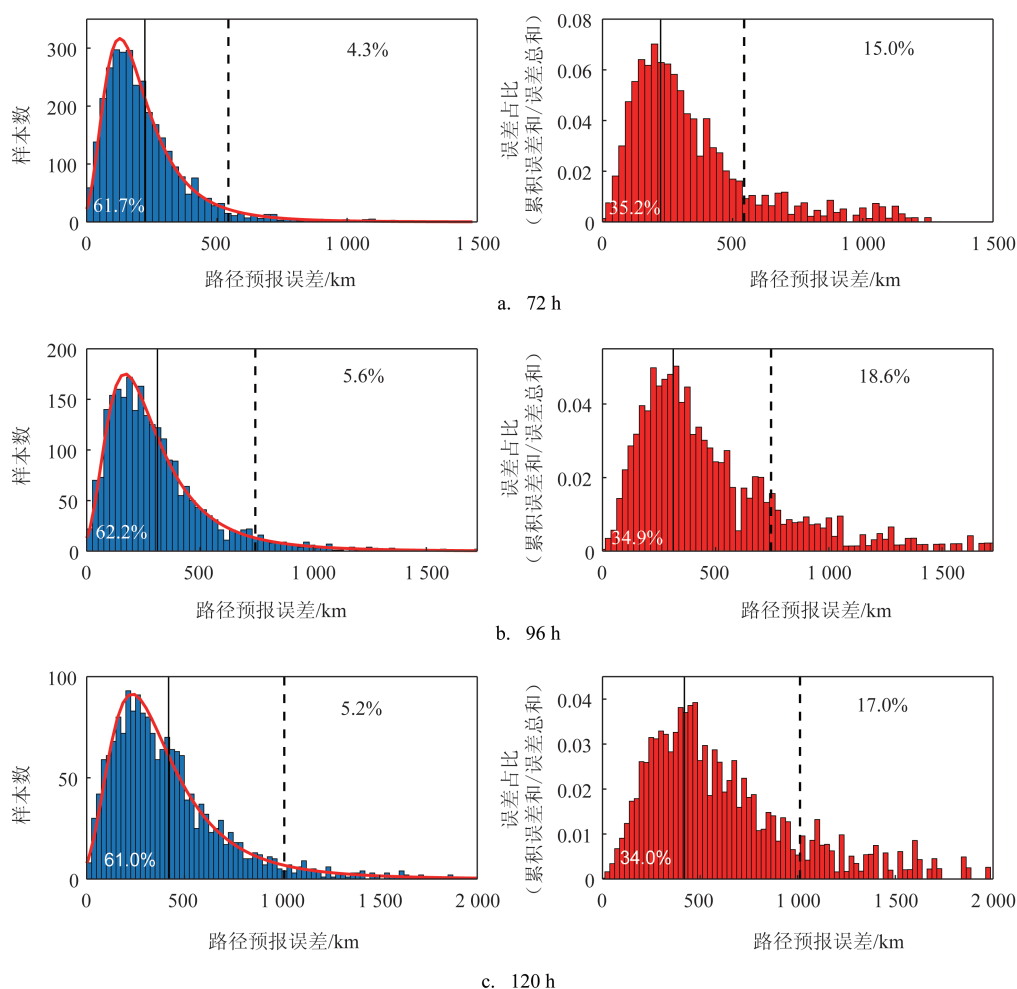
Fig.1 Box plots of 72 h, 96 h and 120 h typhoon forecast errors from 2012 to 2021

图2为台风预报误差样本分布频次和预报误差累积占比,各预报时效预报误差的平均值以黑色实线示意,上邻值以黑色虚线示意。由图可见,72 h、96 h和120 h预报时效中超过60%的样本预报误差(分别为61.7%、62.2%、61.0%)小于中位数,其贡献的误差约占总误差的1/3(分别为35.2%、34.9%、34.0%);大误差样本虽然样本数占比少(仅为4.3%、5.6%、5.2%),但其贡献的误差占比高(分别为15.0%、18.6%、17.0%),几乎相当于小误差样本(即预报误差小于中位数的样本)的一半。

以120 h预报时效为例,相较于小误差样本,大

误差样本数仅为其1/12,但其贡献的误差占1/2。这也反映出实际台风业务预报中,为数不多的预报大误差需要用近6倍的“好”预报来“弥补”,才能将平均预报误差控制在一定范围内。

2012—2021年FE平均值有较明显的下降趋势,经线性拟合估算,72 h、96 h和120 h预报时效的误差逐年减少约4.3 km、9.3 km和19.8 km。2021年,120 h和96 h的预报水平与2012年96 h和72 h的预报水平相当。然而,预报大误差值随时间变化并无显著下降趋势(见图3),2021年仍有4个台风出现极大的3~5 d的路径预报误差。这一演变趋



注: —— 为72~120 h预报误差平均值;左下角百分数为小于平均值的样本(累积误差)占比; - - - 为72~120 h预报误差上邻值; 右上角百分数为离群值(大于上邻值)的样本(累积误差)占比

图2 72 h、96 h和120 h的台风预报误差频次(蓝色直方图,以误差间隔25 km统计)及广义极值分布(红线)与预报误差累积占比(红色直方图,以误差间隔25 km统计)

Fig.2 Histograms of the 72 h, 96 h and 120 h forecast errors (blue, class intervals at increments of 25 km), generalized extreme distribution fit (red line) and percentage of the cumulative errors (red, class intervals at increments of 25 km)

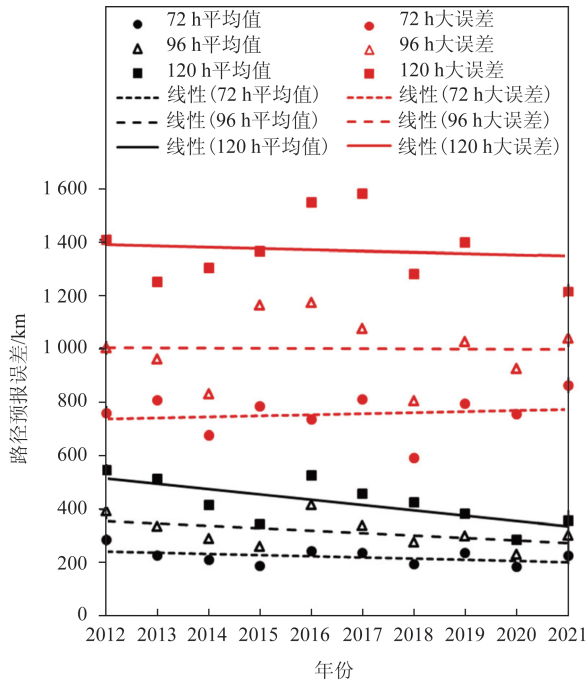


图3 2012—2021年台风路径72 h、96 h和120 h的预报误差平均值与大误差平均值分布

Fig.3 Scatters of 72 h, 96 h and 120 h forecast errors mean value and the mean of large errors from 2012 to 2021

势揭示出,在整体预报水平提升的背景下,极端大误差并无大的改善,预报员应尤其加强对其来源和成因的分析。

3.2 误差来源

为了进一步揭示预报误差是来源于对移速还

是移向的判断失误,我们计算 ATE 和 CTE(见图4)。ATE 小于(大于)零表示预报偏慢(快),CTE 小于(大于)零表示预报偏左(右)。与前人研究相似^[4],2012—2021年72 h、96 h和120 h的FE也呈现出以移速预报误差为主的分布特征,且以预报偏慢的样本为主导($ATE < 0$),这在96 h和120 h预报时效的结果中尤为明显。

从大误差的结果可以看出,72 h预报中存在预报偏快、移向误差大($|CTE| > 500$ km)的样本,而预报偏慢的大误差样本以移速误差为主($ATE < -500$ km);96 h和120 h预报中的大误差主要由预报偏慢($ATE < -800$ km)的样本贡献,这其中包含了极少数预报移向近乎反向的样本。

预报大误差样本与起报时台风的强度存在一定关系(见图5)。按照台风底层中心附近最大平均风速,可将台风强度由小到大分为热带低压(Tropical depression, TD)、热带风暴(Tropical storm, TS)、强热带风暴(Severe Tropical storm, STS)、台风(Typhoon, TY)、强台风(Severe Typhoon, STY)和超强台风(Super Typhoon, SuTY)。以120 h预报大误差样本为例,当起报时台风强度为TD—STY时,大误差呈现出随着强度增大而减少的趋势,尤其是预报误差超过2 500 km的样本都发生于台风起报强度为TS级别时(2016年的台风“灿都”和台风“米雷”,2015年台风“杜鹃”),这似乎反映出随着台风强度的增加,数值模式对其模拟的不确定性增大。但同时需要指出,起报时强度达到

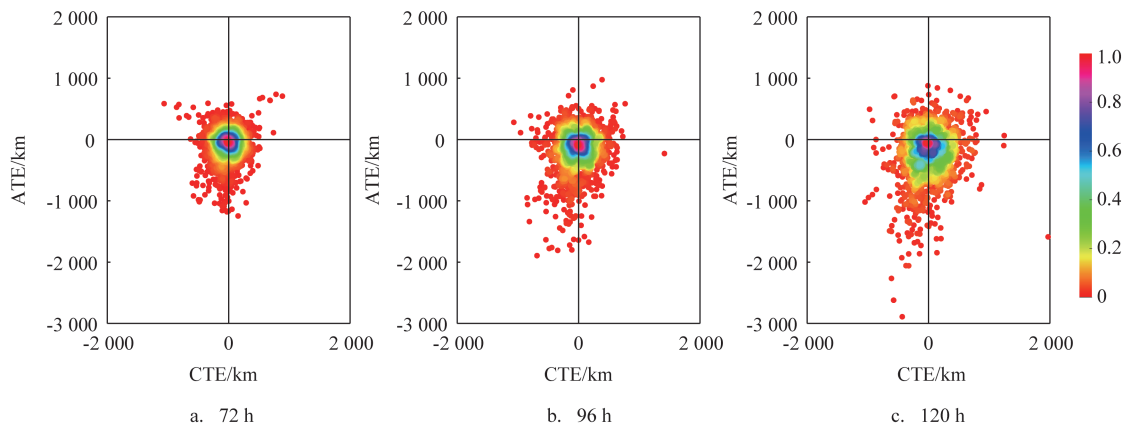
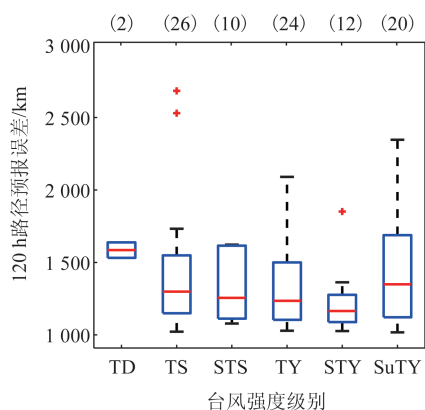


图4 72 h、96 h和120 h台风路径的ATE和CTE分布散点密度图

Fig.4 Scatters and density (shaded) of 72 h、96 h和120 h ATE and CTE



注:红色横线表示中位数;蓝色箱子的底边和顶边分别表示25%和75%百分位数;红色“+”表示离群值;上方括号内数字为样本数

图5 台风路径120 h预报大误差与台风起报时强度分级箱线图

Fig.5 Box plots of the large errors and the initial forecast intensity of the 120 h typhoon track forecast

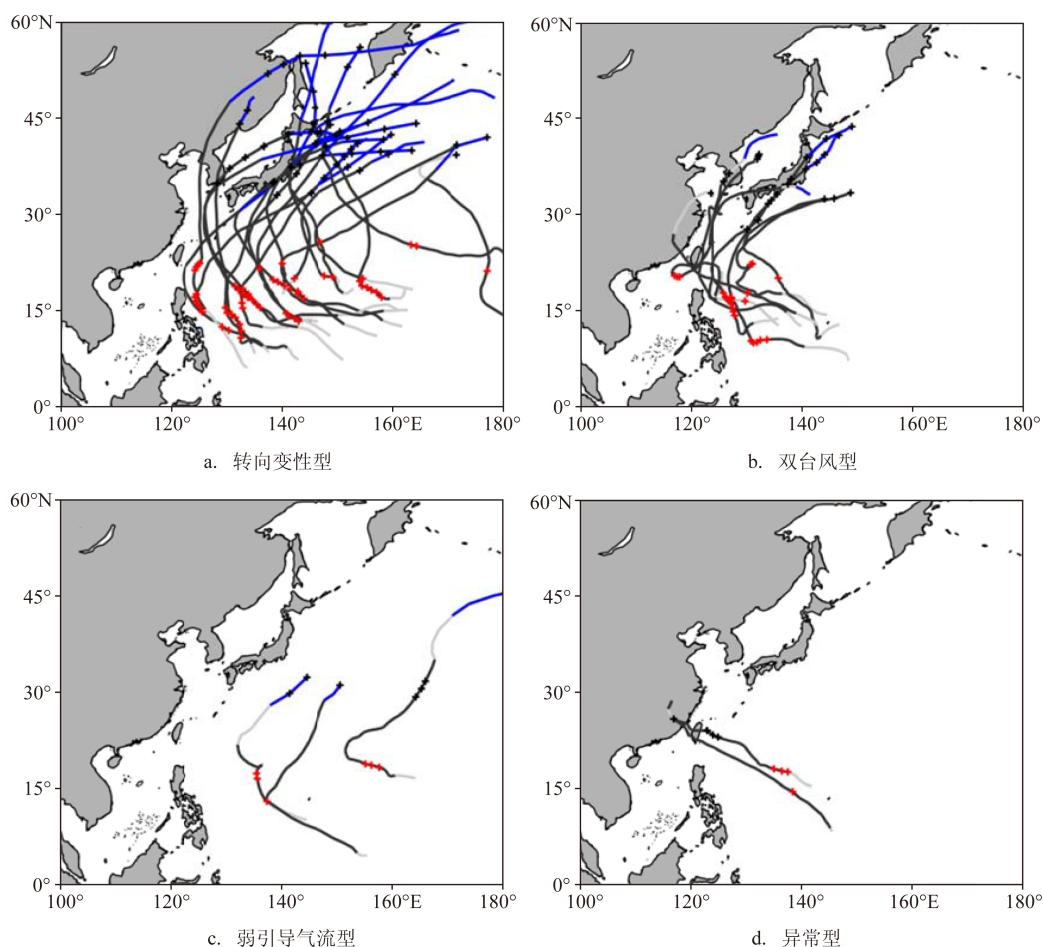
SuTY的样本(例如2018年台风“康妮”和2021年台风“灿都”),由于存在双台风作用,也会出现极端大的预报误差。

4 大误差台风分析

在预报误差分布中,我们更关注大误差样本的分布。在72 h、96 h和120 h的预报时效中分别有141个、140个和94个大误差样本,其中来源于同一台风的样本重合率达75%以上。因此,本文只以120 h预报大误差的样本为例,分析大误差台风的路径特征、误差来源及环流形势特征(见图6)。

4.1 路径与误差特征

2012—2021年,120 h预报中FE超过1 011.6 km的94个大误差样本来源于33个台风。考虑预报时



—:台风强度达热带风暴及以上;---:台风强度为热带低压;—:台风变性为温带气旋;+:台风起报位置;+:120 h后台风的实际位置

图6 大误差台风路径图

Fig.6 Tracks of typhoons with large forecast errors

刻台风是否处于移速增大的变性阶段或已转化为温带气旋、起报—预报时刻是否存在双(多)台风相互作用以及台风引导气流是否明显等因素,可将上述33个台风分为4类。

(1) 转向变性(Extratropical Transition, ET)型(20个台风,占比60.6%,见图6a)

台风在由低纬度移向高纬度的过程中与中纬度天气系统相互作用,逐渐丧失热带特性并具备温带特性的过程被称为变性过程^[11-12]。变性过程开始后台风移速明显加快^[13],对台风转向变性过程的把握失误以及转向后移速的预报失误,会造成预报大误差(如2013年台风“韦帕”、2015年台风“红霞”和2018年台风“康妮”等)。此类型台风多出现在8—10月,表现为预报偏慢($ATE < -1\ 000\text{ km}$),相比于移速误差,移向误差略小($|CTE| < 500\text{ km}$),整体表现为预报偏左。

(2) 双台风(Binary Typhoons, BT)型(8个台风,占比24.2%,见图6b)

两个气旋性涡旋在较近距离内相互作用,易使台风路径预报难度增大。台风在双台风作用阶段路径复杂^[14],例如2012年台风“天秤”^[15]与其东侧的台风“布拉万”存在双台风互旋,120 h预报误差高达1 100 km;2021年台风“灿都”受其西侧台风“康森”影响,120 h预报误差达1 017 km,其中CTE偏差为-392 km。此类型台风多出现于6—9月,路径多呈现打转、异常转折等特征,相应时段的预报大误差(例如在2012年台风“派比安”打转时的预报误差高达1 544 km)多表现为预报偏左、偏慢,仅存在少

数预报偏快的个例(见图6b)。

(3) 弱引导气流(Weak Background, WB)型(3个台风,占比9.1%,见图6c)

台风在均压场、鞍形场等环流形势下,引导气流弱,在无双(多)台风作用的情景下,台风路径呈打转、急转等特征,甚至出现预报移向与实际移向近乎相反的情况,导致预报误差变大,例如2016年台风“米雷”、2018年台风“万宜”和2021年台风“南川”,此类台风主要活跃于10—11月。与ET型在起报时刻120 h后台风路径多位于中纬度(41.7°N)不同的是,WB型在120 h后仍处于较低纬度(31.0°N)。该类型对应着较大的移向误差,预报偏左(见图7c中黑色圆圈)。

(4) 异常(Non-Steering Flow, NSF)型(2个台风,占比6.1%,见图6d)

2016年台风“尼伯特”和2015年台风“杜鹃”分别发生于7月和9月,其预报误差既不是由于低估了台风变性后的移速,也没有发生双台风作用,在台风西北行过程中的引导气流也不弱,因此台风不属于以上3类。参考PENG等^[4]的分型,将这种移向与引导气流方向偏差较大的类型列为异常型,其误差来源主要为对移向预报的失误, $CTE > 840\text{ km}$,最大达1 970 km(见图7c中+)。

4.2 天气环流型

本文从天气学角度,分析了大误差台风由起报时刻(T_0)~120 h($T_0+5\text{ d}$)的环流形势演变特征,总结了影响台风路径的主要系统,归纳了大误差台风

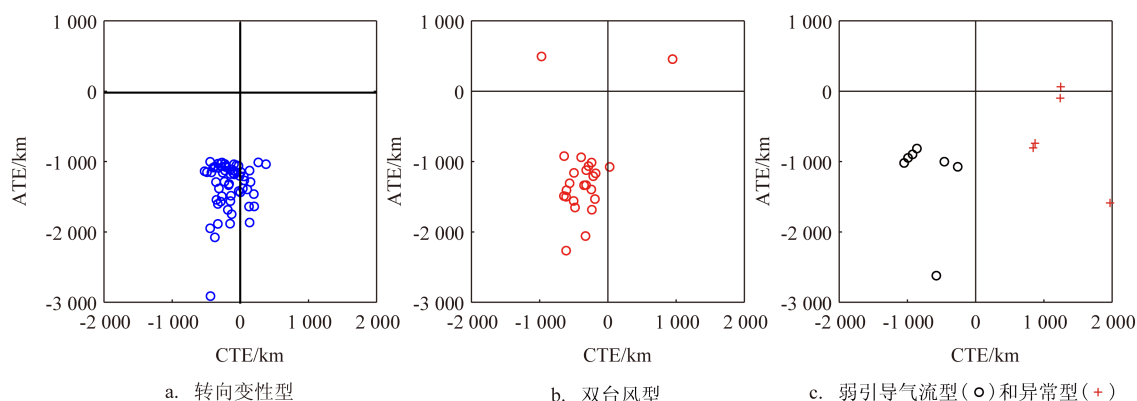


图7 大误差台风120 h ATE和CTE分布散点图

Fig.7 Scatters of 120 h ATE and CTE of typhoons with large forecast errors

天气环流形势特征(见图8)。图中L表示中纬度低值系统(包括低压环流和中纬度槽),H表示副热带高压系统(简称副高),TC代表另一热带气旋,红色箭头表示台风移动方向,黑色(灰色)台风符号及黑色实线(灰色虚线)分别表示 T_0 (T_0+5 d)时刻台风及主要天气系统的位置。我们分别对4.1节中4类台风类型的天气形势场进行分析。

(1)依据台风经历变性过程中中纬度系统的不同性质,可将ET型台风分为ET1、ET2、ET3。台风由副高西侧(及西南侧)北上,在转向过程中与中纬度槽相互作用,转向后加速向东北方向移动的ET1型最常见(见图8a);台风在副高西北侧与中纬度低压环流发生相互作用,变性后的台风环流并入中纬度环流,加速向偏东方向移动的为ET2型(见图8b);台风由副高南侧向西移动,后期与经向环流度较大的中纬度槽相互作用,加速北上的为ET3型(见图8c,例如2015年远洋台风“基洛”)。由于变性过程的中纬度系统和强弱以及与台风相对位置的不同,导致3种类型的台风移向有所不同,其共性在于中纬度天气系统的作用大,大误差均是由于低估

了变性台风的移速所致。

(2)依据另一台风的相对位置可将BT型划分为BT1和BT2。统计结果表明,西北太平洋上出现双台风时常会观测到异常路径,其路径的预报误差较单一台风明显增大。20世纪20年代初,日本气象学家FUJIWHARA^[16-17]通过大量试验发现,两个气旋性涡旋在较近距离内(一般为1 000 km)有逆时针方向互旋的特点和彼此逐渐接近的趋势,称为“藤原效应”,也称为“双台风作用”。吴限等^[18]归纳出双(多)热带气旋相互作用的7种类型,可见BT型的个例之间差异较大。此处将台风西(东)侧还有另一台风的情景归类为BT1(BT2)。相比于中纬度环流,另一台风是影响路径预报的重要系统,双台风作用使得台风的移向和移速难以被正确判断,从而给复杂路径预报造成大误差。

(3)WB型台风处于两个高压或副高之中,即位于鞍形场或均压场内,中纬度系统相互作用弱,台风引导气流弱且方向多变,在此类天气形势下,台风移速小,这也对应着该类型台风的移速误差较ET型和BT型小。

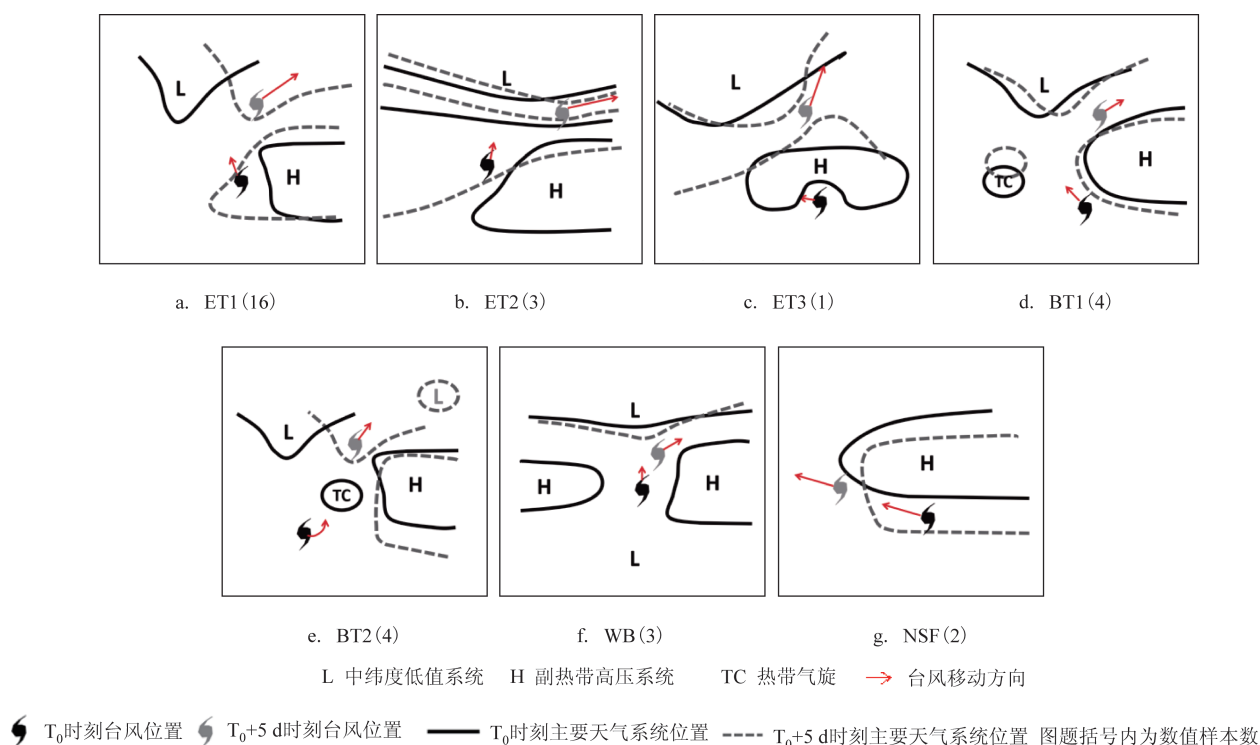


图8 大误差台风天气形势概念图

Fig.8 Conceptual map of the synoptic situation for typhoons with large errors

(4)NSF型台风由副高南侧移动至副高西侧,预报路径将转向北上,但实际移向持续向西北方向移动。

5 小结与讨论

本文通过计算2012—2021年台风3~5 d的路径预报误差,指出大误差样本(误差离群样本)的数量仅占小误差样本的1/12,但其贡献的误差占到后者的1/2,且在预报误差降低的整体趋势背景下,大误差随时间变化无显著下降趋势。本文进一步明确了大误差来源于4种类型台风,并总结了台风路径、天气环流形势及误差特征。结论如下:

(1)转向变性型(ET,60.6%)台风多发于8—10月,转向路径和中纬度天气系统为影响路径预报的主要系统,大误差均是由于低估了台风变性后的移速所致($ATE < -1000$ km),移向误差略小($|CTE| < 500$ km)。

(2)双台风型(BT,24.2%)台风多发于6—9月,路径多呈现打转或异常转折等特征,双台风作用使得台风的移向和移速难以被正确判断,从而给复杂路径预报造成大误差,整体表现为预报偏左、偏慢。

(3)弱引导气流型(WB,9.1%)台风发生于10—11月,台风在鞍形场或均压场中,引导气流弱、方向多变,台风路径呈打转、急转等特征,移向误差大,预报移向甚至与实际移向近乎相反。

(4)异常型(NSF,6.1%)台风的大误差来源于对移向的预报失误($CTE > 840$ km)。

大气是一个对初值敏感的、高度非线性的动力系统,即使在预报技术稳步发展的今天,台风3~5 d路径预报的极大误差仍旧存在,提早发布精准的长时效预报路径充满挑战。台风作为发生、发展于海洋的灾害性天气,其下垫面的性质演变对台风路径有重要影响,变性型台风的大误差对应台风在移向较冷的高纬度洋面时会发生变性过程,而异常型台风中海气相互作用对误差的影响仍待进一步研究。明确不同天气环流型可能导致的台风路径预报大误差特点,有助于预报员在综合路径预报时开展长时效路径预报订正,以更好地保障防台减灾工作的开展。

参考文献:

- [1] 陈联寿,端义宏,宋丽莉,等. 台风预报及其灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 151-152.
CHEN L S, DUAN Y H, SONG L L, et al. Typhoon forecast and disaster[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2012: 151-152.
- [2] 钱传海,端义宏,麻素红,等. 我国台风业务现状及其关键技术[J]. 气象科技进展, 2012, 2(5): 36-43.
QIAN C H, DUAN Y H, MA S H, et al. The current status and future development of china operational typhoon forecasting and its key technologies[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2012, 2(5): 36-43.
- [3] 吴影,陈佩燕,雷小途. 登陆热带气旋路径和强度预报的效益评估初步研究[J]. 热带气象学报, 2017, 33(5): 675-682.
WU Y, CHEN P Y, LEI X T. A preliminary study on the benefit assessment of track and intensity forecast of landfall tropical cyclones[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2017, 33(5): 675-682.
- [4] PENG X D, FEI J F, HUANG X G, et al. Evaluation and error analysis of official forecasts of tropical cyclones during 2005-14 over the western north pacific. Part I: storm tracks[J]. Weather and Forecasting, 2017, 32(2): 689-712.
- [5] 钱奇峰,张长安,高拴柱,等. 台风路径集合预报的实时订正技术研究[J]. 热带气象学报, 2014, 30(5): 905-910.
QIAN Q F, ZHANG C A, GAO S Z, et al. Real-time Correction method for ensemble forecasting of typhoon tracks[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2014, 30(5): 905-910.
- [6] 陈国民,张喜平,白莉娜,等. 2017年西北太平洋和南海热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 2019, 45(4): 577-586.
CHEN G M, ZHANG X P, BAI L N, et al. Verification on forecasts of tropical cyclones over western north pacific and south China sea in 2017[J]. Meteorological Monthly, 2019, 45(4): 577-586.
- [7] 陈国民,张喜平,杨梦琪,等. 2019年西北太平洋和南海台风预报精度评定[J]. 气象, 2021, 47(10): 1266-1276.
CHEN G M, ZHANG X P, YANG M Q, et al. Verification on forecasts of typhoons over Western North Pacific and South China Sea in 2019[J]. Meteorological Monthly, 2021, 47(10): 1266-1276.
- [8] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 227-229.
CHEN L S, DING Y H. An introduction to the typhoons over western North Pacific[M]. Beijing: Science Press, 1979: 227-229.
- [9] JARRELL J D, BRAND S, NICKLIN D S. An analysis of western North Pacific tropical cyclone forecast errors[J]. Monthly Weather Review, 1978, 106(7): 925-937.
- [10] YING M, ZHANG W, YU H, et al. An overview of the China meteorological administration tropical cyclone database[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2014, 31(2): 287-301.
- [11] JONES S C, HARR P A, ABRAHAM J, et al. The extratropical

- transition of tropical cyclones: forecast challenges, current understanding, and future directions[J]. *Weather and Forecasting*, 2003, 18(6): 1052-1092.
- [12] WANG Q, LI Q Q, FU G. Determining the extratropical transition onset and completion times of typhoons Mindulle (2004) and Yagi (2006) using four methods[J]. *Weather and Forecasting*, 2012, 27(6): 1394-1412.
- [13] KITABATAKE N. Climatology of extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific defined by using cyclone phase space[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2011, 89(4): 309-325.
- [14] 张晓慧, 张立凤, 周海申, 等. 双台风相互作用及其影响[J]. *应用气象学报*, 2019, 30(4): 456-466.
- ZHANG X H, ZHANG L F, ZHOU H S, et al. Interaction and influence of binary typhoons[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2019, 30(4): 456-466.
- [15] 罗霞, 费建芳, 黄小刚, 等. 应用位涡分析 1214 号台风“天秤”异常路径[J]. *气象科学*, 2014, 34(2): 119-127.
- LUO X, FEI J F, HUANG X G, et al. Analysis of potential vorticity perspective on abnormal path of 1214 Typhoon “Tembin” [J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2014, 34(2): 119-127.
- [16] FUJIWHARA S. The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1921, 47(200): 287-292.
- [17] FUJIWHARA S. On the growth and decay of vortical systems[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1923, 49(206): 75-104.
- [18] 吴限, 费建芳, 黄小刚, 等. 西北太平洋双热带气旋相互作用统计分类及其特征分析[J]. *热带气象学报*, 2011, 27(4): 455-464.
- WU X, FEI J F, HUANG X G, et al. Statistical classification and characteristics analysis of binary tropical cyclones over the Western North Pacific ocean[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2011, 27(4): 455-464.

Analysis of typhoon track forecast errors for 3~5 days by Central Meteorological Observatory from 2012 to 2021

WANG Qian^{1,2,3}, XU Yinglong², DONG Lin², HUANG Yiwu²

(1. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Fudan University, Shanghai 200438, China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100081, China; 3. State Key Laboratory of Severe Weather in Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: The statistical results of typhoon track forecast errors for 3~5 days issued by Central Meteorological Observatory from 2012 to 2021 show that although the number of samples with large errors is only 1/12 of that with small errors, the errors it contributes account for 1/2 of the latter. Although the overall forecast error decreases, there is no significant decreasing trend in large errors over time. The analysis of the distribution characteristics and sources of large errors reveals that they come from four types of typhoons: extratropical transition type (ET, 60.6%), binary typhoons type (BT, 24.2%), weak background type (WB, 9.1%) and non-steering flow type (NSF, 6.1%). By further summarizing the synoptic situation field, it is pointed out that the large errors of ET type is caused by the underestimation of the typhoon's moving speed after its transition; the complex tracks such as rotation and abnormal turning caused by the effect of binary typhoons make it very difficult to forecast for the BT type; the WB type has weak and direction-variable guiding flow, resulting in large error in direction; the large errors of NSF type is caused by the error in direction forecasting.

Key words: typhoon, forecast error, extratropical transition, binary typhoons